科學新知

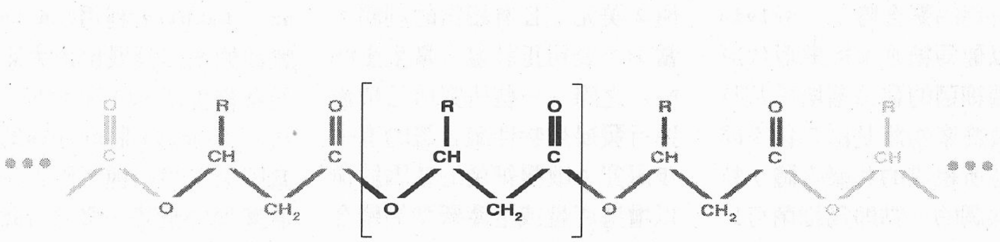
塑膠用馬鈴薯之探尋

⊙文／范明仁・杜金池 ⊙農業試驗所秘書 所長
⊙本篇摘錄自"Science"1989年245卷1187～1189頁

「隨著工業用塑膠大量應用，其所具的不分解性及燃燒後產生有毒氣體等性質，使得我們所在的環境中充塞著保麗龍、塑膠袋等等，而成爲環保上最難清除之垃圾。因此有人提出了爲何不使用植物來生產塑膠以取代工業塑膠原料呢！在此意識下終於萌發出了所謂生物聚合體工程。科學家在生物聚合體工程研究之萌發階段正集中全力於一些作物或細菌使它們成爲塑膠新族。」衆人皆知超級市場內之番茄味道愈來愈像塑膠；且慢！將來一些作物的生產目的爲塑膠原料。研究者目前嘗試各種方法來長出塑膠以取代化學合成方法，事實上已有一家化學公司利用大桶裝的細菌來生產聚合體以製成聚丙烯（一種類似聚乙烯的聚合體物質），另外好幾組研究團隊則嘗試以遺傳工程方法來修改細菌的遺傳訊息，使其製造新產品，如合成橡膠及特殊型態之塑膠。一些科學家甚至期望把製造塑膠的基因放入糧食作物，在此種新奇構想下，明日的農夫可能在緊接著馬鈴薯旁生產塑膠。你認爲是無稽之談嗎？事實上今日全球用於以生物生產塑膠之研究上，已投入上百萬美元以上，並期

展望明日農夫，將可自田間收穫塑膠原料

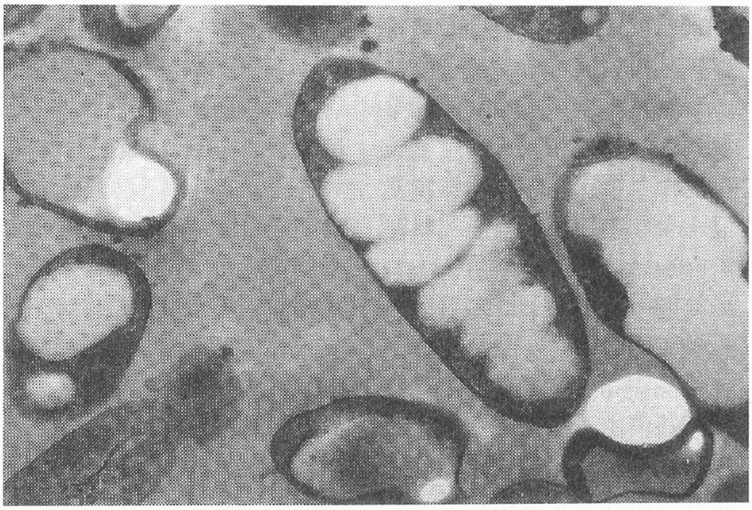
待能有上億元之回收呢！此項研究推動的因素包括環境的、商業的及科學上的因素。這些"生物性聚合體"可成爲塑膠的一種新的原料，且因具有生物分解性，將取代往日的石油。雖然目前生物性聚合體相當貴，但假如有一天所謂塑膠用玉米或馬鈴薯能研究成功，則其成本將比目前工業用塑膠原料的合成聚合體來得便宜。生物性聚合體在研究者的眼光中不僅是一項塑膠革命，其最大的魅力仍在此種生物性聚合體能在今日科學競技場中創造出研究的新領域。例如利用自然界所存的酵素可令其分解，化學家則認爲用此方法可以完全控制擬製出物質的結構，使其能爲顧客策劃新型式的塑膠或類似橡膠的物質，或一些完全不同於目前所存的物質。自從去年美國維幾尼亞州詹麥迪生大學的研究人員發表可以由生產類似塑膠聚合體的細菌中，將製造聚合體的基因分離出來，立即引發人們對生物性聚合體研究產生爆炸性的興趣。一些期刊爭相報導此類文章，麻州技術研究所生物化學家：Anthony Sinskey 預測這個研究領域在不久的將來將廣受世人注目。日本政府宣佈投入二億美元於生物性聚合體的研究計畫，在歐洲及美國不論工業界或學術界皆將進行此一方向之研究。此一研究領域中跨出最早一步的爲英國 ICI 公司，其在數年前即發現一種能製造生物性聚乙烯的細菌。在白金漢的一個小型預備試驗中培育出一桶 Alcaligenes eutrophus 的細菌，此種細菌已被證明能製造一種聚羥基丁酸鹽(poly hydroxybutyrate PHB) 的聚合體。細菌內之 PHB 正如人身上之脂肪或植物的澱粉，一個 PHB 分子是由成千的羥基丁酸互相連接而成，並集成一束，PHB 是一種硬的、易碎的塑膠可作爲保特瓶原料。一個 A. eutrophus 菌落中聚合體佔總乾重之80%以上，此種細菌可用葡萄糖溶液來培養，繁

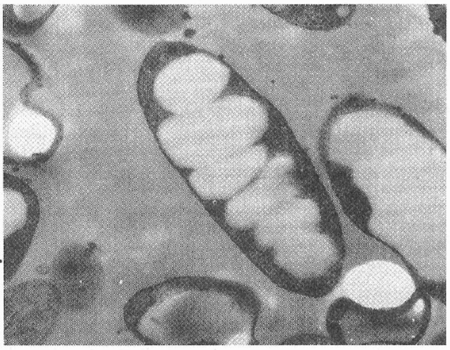


PHAs的一般結構，其中R爲烷基，若R爲甲基(CH_3)則此聚合體則爲PHB

Rhodobacter spheroides細菌內卵狀的物質是由很多聚合體顆粒所組成(放大20,000倍)

殖細菌時需隔離氮氣，因氮氣會使細菌誤認爲是一種逆境來臨之信號，如同熊在越冬前會在外層形成一層脂肪一樣，在逆境下細菌會將其資源大部份投入於製造 PHB 。美國 ICI 開發部經理 Thomas Galvin說，不幸的是要由細菌中抽取聚合體是一件相當困難的工作，PHB 是以顆粒狀存於細胞的內壁，每一顆粒含有成千獨立的聚合體鏈，爲著抽取聚合體勢必將細胞壁打破並將 PHB 與細胞碎片分離且不可損及 PHB 顆粒，此外，要將聚合體製成塑膠仍需相當的技術，因爲 PHB 的熔解溫度爲 170 ℃，與其分解之溫度相當接近。 ICI 一直在進行此種新穎艱鉅但極有潛力的計畫，就是利用細菌製造出更有用的聚合體， Galvin 說當以葡萄糖及有機酸取代原先培養細菌的葡萄糖培養基時，則最終產物將是由二種不同分子鏈所組成的共聚合體，特別要強調的一點即爲細菌可以加入 5 至20%的羥基戊酸鹽(hydroxy valerate) 分子進入羥基丁酸鹽分子鏈中，其所形成之聚合體稱爲PHB-V,較 PHB 硬度強，可塑性高且熔解溫度低。 PHB-V 之性質與聚丙烯很類似，皆可做成玻璃紙膜和塑膠袋。然其具一般塑膠所沒有之特性一生物分解性。由於其仍由細菌所合成，故亦可被細菌完全分解成水及二氧化碳而爲細菌之能源。將來不但可成爲一種能於環境中自然分解的塑膠產品，亦因可緩慢的於體內分解，而做爲醫學上的植入物質，如做爲手術縫線和藥囊。Galvin說， ICI 初期的計畫爲每年生產50噸 PHB-V 並擴充至 500 噸，擴充後可使目前每磅15美元之價格減半，但因目前塑膠每磅僅 0.5 美元，所以仍無法與塑膠相抗爭，但其在醫學上做爲植入物質之應用時，卻可獨享此一市場。Galvin 說 ICI 公司曾算出如果 PHB-V 年生產量爲一萬噸時每磅售價僅 2 美元，且有相當的利潤。當 ICI 公司正計畫大量生產PHB-V 之際，一些研究所已積極進行發展生物性聚合體的進一步研究：改變細菌的基因結構以增進產量或生產新型的聚合體。1987年Douglas Dennis已成功的將 A. eutrophus 細菌製造 PHB 之基因分離出並純系化，同時將這些基因轉移至另一種細菌：大腸桿菌，並使這些細菌生產出一般大腸桿菌所無法生產的 PHB 。大腸桿菌是遺傳工程上所謂的實驗標準菌，一些成功的技術皆以大腸桿菌爲工具，而上述將基因轉至大腸桿菌爲一極重要的步驟，如此可進行很多遺傳工程的工作。例如有一種大腸桿菌突變體，其體積爲一般之十倍，如將 PHB 基因轉移至此種大腸桿菌，則每個細胞所生產的聚合體將增加十倍，如此可使聚合體萃取較爲容易。有趣的是當初Dennis並不知他的研究在商業上的潛力，當時他們分離PHB 基因，純爲科學上想瞭解控制 PHB 生產開關的機制，所以他們在文章刊登前並未取得專利，幸好美國允許文章登出後一年內可申請專利，然而在歐洲則喪失專利權。在澳洲Werner Lubbitz 利用Dennis所分離出的基因發展出由大腸桿菌商業化生產 PHB 和 PHB-V 的方法。 Lubbitz 將Dennis的 PHB 基因植入另一種大腸桿菌，當溫度加熱至某一溫度時此菌會破裂。如此不需利用溶劑或有害的處理即可自此菌取得聚合體顆粒，利用此菌系可於28℃下培養，使其細胞內充滿PHB,然後將溫度升至42℃， 10分鐘後細菌破裂並擠出聚合體，





塑膠工廠的縮影
生物性聚合體藍圖

此種萃取過程完全不需溶劑，高溫或酸處理，對聚合體可不加破壞且回收容易，此爲一極大的突破，如此可以生產更便宜的聚合體。然而，這些經遺傳工程處理過的細菌仍有一些問題，直至目前爲止雖然大腸桿菌可以如同 A. eutrophus 以葡萄糖加有機酸之配方培養，但仍然無法生產出PHB-V,而且大腸桿菌僅能製造出其乾重70%之聚合體而無法達到90%。Lobbitz 認爲研究者對目前的結果不必感到沮喪，澳洲、德國及美國等地的大膽投資者表明對建立一種塑膠用植物的高度興趣，希望由改良的大腸桿菌去製造PHB-V,一些化學公司也極願意購買由植物所生產的塑膠。在美國已有二個生物聚合體工程計畫正進行中，MIT 和麻州大學二個研究團隊正以分子生物學、生物化學和聚合化學之組合來探討此一領域，生物學家培育細菌再由化學家分析其所生產的聚合體，經過一段時間後他們希望能獲得新型的聚合體，再計畫用細菌來生產。在麻州大學的Robert Lenz和Clinton Fuller正研究不同細菌所製造之聚合體的種類，他們指出 PHB 祇爲不同細菌品系合成自然聚合體中之一種，而一般細菌貯藏能源的主要形態爲羥基生物鹼聚合體 PHAs，每個PHAs皆因其基本分子中一個原子的不同而互異，因而其性質亦差異極大。Lenz說，目前他和Fuller已培養出 5 ～ 6 種細菌，以不同培養基下觀察其所形成物質，此培養基包括一般正常培養基或添加一些自然界所未見的有機酸。Lenz說當你以不同的培養基餵食細菌時，它們可能死亡或形成新的能源貯藏物質。例如使用一具有芳香族環的脂肪酸爲主要培養基，則其聚合體含

有一芳香族環，此爲自然界所未見。Fuller和Lenz目前正找尋能於10、11、12、碳長度之培養基中生存且產生有彈性聚合體，其性質與橡膠相似的細菌，由於具生物分解性及彈性，可做爲血管之材料。他們亦研究一種可行光合作用用的細菌 Rhodospirillum rubrum，可利用陽光爲能源並產生新型的聚乙烯。生化學者認爲細菌合成化學物質的技巧非常令人驚奇且神速，一般化學家需10年的工作，細菌可能於一個晚上即可合成。Lanz說，細菌可生產比化學合成更快，分子量更大，且純而價格低廉的聚合體，假如要用化學方法合成 PHB 至少需花費 100 美元，但細菌祇需 2 美元。美國 Naval 研究中心對很多研究生物聚合體的工作予以經費的支援，該中心分子生物計畫負責人Micheal Marron認爲使用生物而非化學來合成聚合體的優點如下：因使用細菌可於分子層次來加以修改，因此所合成的物質之純度與專一性爲化學所無法達成，他預測將來生物性聚合體的成本可能比以化學方法來得便宜。另一個考慮的重點爲對石油工業的依賴，假如聚合體可由作物所生產，則美國的塑膠供給即可完全自給自足，但此夢想至目前仍未實現。但如果能將此因子放入玉米則可望美夢成眞，因玉米的澱粉非常便宜，美國密西根大學生化學家 Somerville正嘗試將由 A. eutrophus 所得的 PHB 基因植入一些不同的作物，並努力於促使這些作物生產聚合體。這個理想將借由改良玉米及馬鈴薯植物而達成，使這些作物不生產澱粉而改爲製造塑膠。當然，目前而言障礙很多，將不同製造聚合體的酵素基因植入植物比較容易，但如何調節這些酵素則相當困難，當植物開始製造聚合體則必需將製造澱粉的機能關掉，使之將能源投入於 PHB 之製造，除了加入一種新的酵素外，另外，必需將已存的酵素活力除去，這部份的工作最爲困難，同時由植物細胞內抽取聚合體時其困難可能比細菌爲多。縱然上述的問題都克服了， Somerville指出由於植物無法分解PHB,所以種子將無法生長，因此在製造所謂塑膠生產用玉米仍有一大困難， Somerville並提出數種解決之道，一種方法是利用二個各具有數個製造 PHB 所需的酵素的玉米，將此二種玉米雜交以產生一種不孕但可製造聚合體的雜種，另一法爲將一些酵素放入玉米，使種子能分解 PHB 爲幼苗生長之所需。上述的問題， Somerville將首先於馬鈴薯或蕪菁上嘗試試驗，這些作物其塊莖或根祇做爲貯藏用與繁殖無關，Somerville認爲可以使馬鈴薯塊莖製造澱粉的部份，改爲製造聚合體，而其他部位則不改變，如此所製造出來的馬鈴薯將與在市場所買的在外觀上很相似，但味道不同。至少有一家農業公司認爲將農場改爲塑膠工廠是相當有潛力的，美國中西部最大的種子生產公司Pioneer Hybrid給 Sinskey 集團 2 萬 5 千美元的補助， Pioneer 研究部主任Barry Martin說雖然這是一個長程計畫，但我們願意在初始即參與。Martin瞭解改變玉米成爲製造聚合體作物的困難，而且這種工作在10年內可能連一線希望都沒有，但他亦發覺到以 1 磅大約10分美金的玉米澱粉，來製造塑膠是個非常偉大的革命。將來農民可能將「一遍金黃色穀粒」這種讚嘆詞改爲「一遍金黃色的塑膠」。